

## СТАНКИ И ИНСТРУМЕНТЫ

УДК 621.919

### ПРОЕКТИРОВАНИЕ И АНАЛИЗ УСЛОВИЙ РАБОТЫ ПРОТЯЖЕК ДЛЯ ОБРАБОТКИ УЗКИХ ФАСОННЫХ ПАЗОВ

*д-р техн. наук, проф. Е.Э. ФЕЛЬДШТЕЙН*  
*(Зеленогурский университет, Польша);*  
*Р. КАМЕНЬЯЖ*  
*(Metalplast LOB SA., Польша)*

*Рассмотрены принципы распределения припуска между отдельными секциями комплектной протяжки для обработки узкого фасонного паза в бронзе CuZn39Pb2 (ЛЦ40С). Предложена методика выбора подъемов на зуб и формы режущих кромок, обеспечивающая равномерную нагрузку на секциях протяжки. Правильный выбор формы режущих кромок, подъемов на зуб и распределения припуска между секциями протяжек для протягивания фасонных пазов обеспечивает благоприятные условия работы инструмента, его высокую стойкость и надежность работы. Использование метода конечных элементов на базе программы CosmosWorks позволило определить эквивалентные напряжения и коэффициенты безопасности в различных частях секции протяжки и отдельного зуба.*

**Введение.** Возрастающие требования к качеству и производительности обработки резанием вызывают развитие процессов протягивания и конструкций протяжек. Протягивание широко используется в крупносерийном и массовом производстве для обработки как внутренних, так и наружных поверхностей. В справочной и научной литературе подробно рассматриваются процессы и инструменты для обработки типовых поверхностей, однако практически полностью отсутствуют рекомендации по протягиванию фасонных поверхностей.

**Исследовательская часть.** Рассмотрим некоторые особенности проектирования протяжек для обработки пазов в цилиндрических вкладышах дверных замков. Такие вкладыши являются типичными представителями деталей, изготавливаемых в условиях крупносерийного производства. Пазы в данном случае обрабатываются на станках непрерывного протягивания (рис. 1). Обрабатываемые вкладыши закрепляются в приспособлениях на транспортере, а неподвижная протяжка состоит из нескольких секций, закрепленных на инструментальной плите.

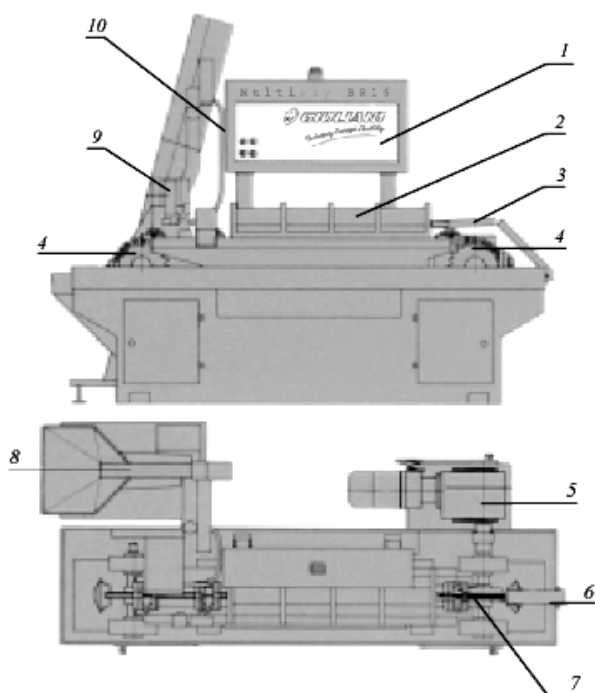


Рис. 1. Основные узлы станка для непрерывного протягивания BR 16 фирмы «Giuliani Multiway»:  
1 – шкаф управления; 2 – инструментальная плита; 3 – ограждение; 4 – цепной транспортер;  
5 – привод; 6 – автооператор разгрузки;  
7 – зажимное приспособление;  
8 – элеваторное загрузочное устройство;  
9 – автооператор загрузки;  
10 – контроллер загрузочного устройства

Вкладыш является основным элементом дверного замка повышенной секретности. В ряду отверстий вкладыша перемещаются подпружиненные штифты-защелки, занимая соответствующее положение и позволяя тем самым открыть замок (рис. 2, а). Сложный профиль паза вкладыша повышает надежность замка. При протягивании пазов во вкладышах необходимо обеспечить точный профиль паза (допуски на основные размеры  $\pm 0,01$  мм), шероховатость обработанных поверхностей  $Ra\ 0,63$  мкм и точное положение профиля паза относительно осей отверстий под штифты-защелки. Типовой профиль паза показан на рис. 2, б.

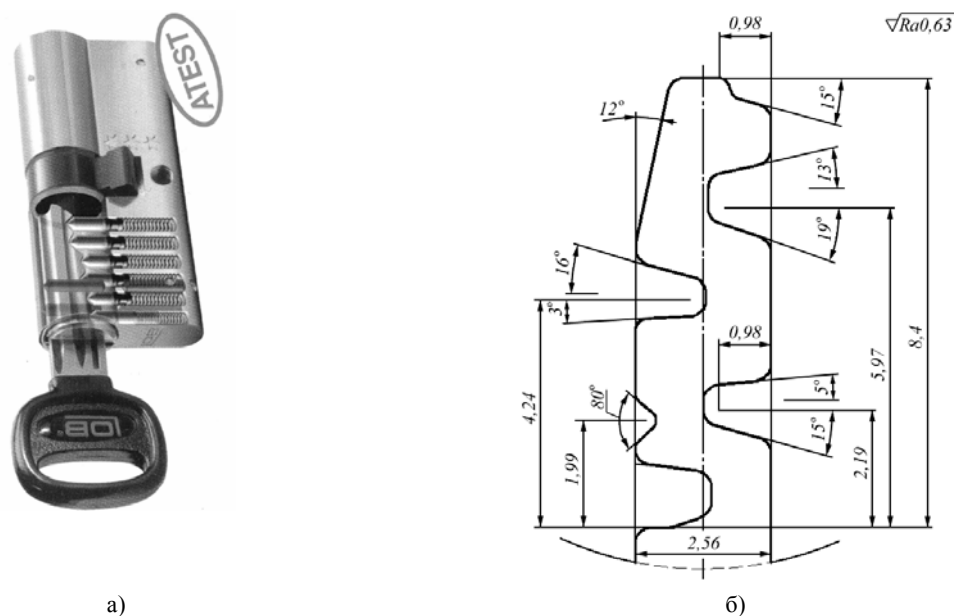


Рис. 2. Принцип работы замка и типовой профиль паза вкладыша (приведены номинальные размеры)

Методика расчета одиночных и комплектных протяжек для обработки пазов простой формы приведена в литературе [1 – 3]. Однако важной особенностью проектирования протяжек для обработки фасонных пазов является разделение полного припуска между секциями для стабилизации силы протягивания и обеспечения необходимой прочности зубьев протяжки.

Рассчитывалась комплектная протяжка для обработки паза во вкладыше из латуни CuZn39Pb2 (ЛЦ40С). Длина протягивания 40 мм, полная глубина протягивания 9,2 мм, длина комплекта секций протяжек 1550 мм. Согласно рекомендациям [1, 2] приняты передний угол ( $\gamma = 5^\circ$ ) и задний угол ( $\alpha = 3^\circ$ ). Глубина стружечной канавки определялась из уравнения:

$$h = 1,1283 \sqrt{K l S_z} = 3,7 \text{ (мм)},$$

где  $K = 1,5$  – коэффициент заполнения стружечной канавки;  $l$  – длина протягивания;  $S_z = 0,18$  мм – максимальный используемый подъем на зуб.

Размеры стружечной канавки приняты в зависимости от величины  $h$ :  $r = 2$  мм;  $t = 9$  мм;  $b = 3,5$  мм;  $r_0 = 0,01$  max (рис. 3).

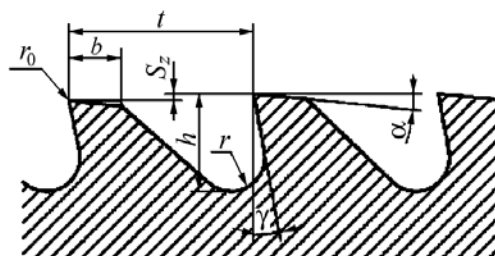


Рис. 3. Профиль стружечной канавки

Число одновременно работающих зубьев  $z_p = l/t$  равно 4...5. Это повышает стабильность протягивания, снижает колебания, уменьшает шероховатость обработанной поверхности.

Распределение припуска между секциями оказывает влияние на конструкцию секций протяжки, их длину, производительность обработки и стоимость.

В общем случае припуск можно делить на вертикальные, горизонтальные, наклонные или концентрические слои. В рассматриваемом случае припуск с учетом сложности профиля паза разделен на горизонтальные слои.

Введение некоторых модификаций повышает прочность зубьев. Принято, что протяжной комплект состоит из 15 секций длиной 90 мм, причем последняя секция является калибрующим и одновременно содержит запасные режущие зубья. Таким образом, припуск разделен между 14 секциями общей длиной 1460 мм. В отличие от протяжек для обработки отверстий или шпоночных пазов разделение припуска при протягивании фасонных пазов значительно сложнее. Следует принимать во внимание возможность изготовления и заточки секций протяжки, обеспечение необходимой прочности зубьев, возможность колебаний силы резания и т.п.

Рассмотрим принципы разделения припуска между зубьями и секциями протяжки. Припуск, удаляемый 1-й секцией, разделен на равные горизонтальные слои толщиной 0,18 мм (рис. 4, а). Это обеспечивает простую форму зубьев секции, подобную форме шпоночных протяжек, и легкий отвод стружки.

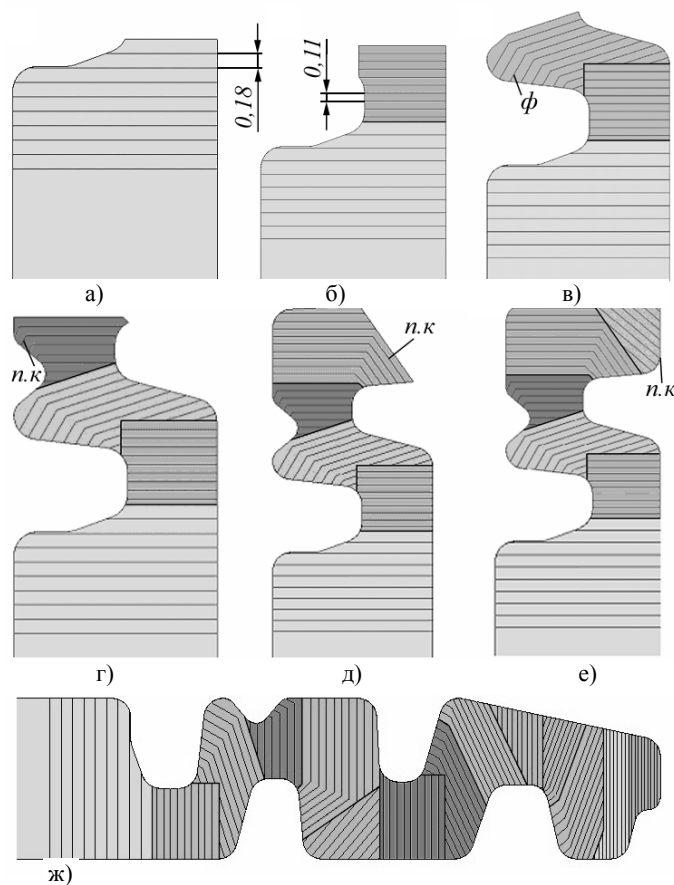


Рис. 4. Схемы разделения припуска:  
а – е – соответственно для секций 1 – 6; ж – для полного припуска (повернуто);  
ф – фаска; п.к – переломанная кромка

Припуск, срезаемый 2-й секцией, разделен на слои толщиной 0,11 мм (рис. 4, б) с целью ограничения уровня сил резания.

Форма профиля паза не позволяет обеспечить равномерные подъемы на зуб. Поэтому на 3-й секции на конце режущих кромок выполняется фаска (рис. 4, в). При ее отсутствии снижается прочность зубьев, и при контакте с деталью возможны их поломки. Профиль зубьев с наклонной режущей кромкой обеспечивает более высокий период стойкости надежность работы.

Подъемы зубьев 4-й и 5-й секций приняты равными 0,13 мм (рис. 4, г, д). Здесь также приняты сложные формы (перелом) режущих кромок, повышающие прочность зубьев.

Еще одна форма режущих кромок характерна для зубьев 6-й секции (рис. 4, е). Здесь зубья наклонены по всей длине, что облегчает сход стружки.

Аналогичный подход был принят для остальных секций протяжки. При этом возрастание высоты зубьев привело к постоянному уменьшению подъемов на зуб до уровня 0,05 мм с целью обеспечения

прочности зубьев. Распределение припуска между всеми секциями приведено на рис. 4, ж. Примеры оформления зубьев с фасками и сломанными режущими кромками приведены на рисунке 5.

После раздела припуска между секциями и отдельными зубьями имеется возможность точного расчета сил резания, действующих на отдельных зубьях в ходе обработки. Уровень сил резания определяется по формуле:

$$P_z = k_c b z_p K_m,$$

где  $k_c$  – удельная сила резания при протягивании, Н/мм, зависящая от подъема на зуб и переднего угла;  $b$  – ширина режущей кромки, мм;  $z_p$  – число одновременно работающих зубьев;  $K_m$  – коэффициент, учитывающий свойства обрабатываемого материала. Значения  $k_c$  и  $K_m$  принимались в соответствии с рекомендациями [4, 5].

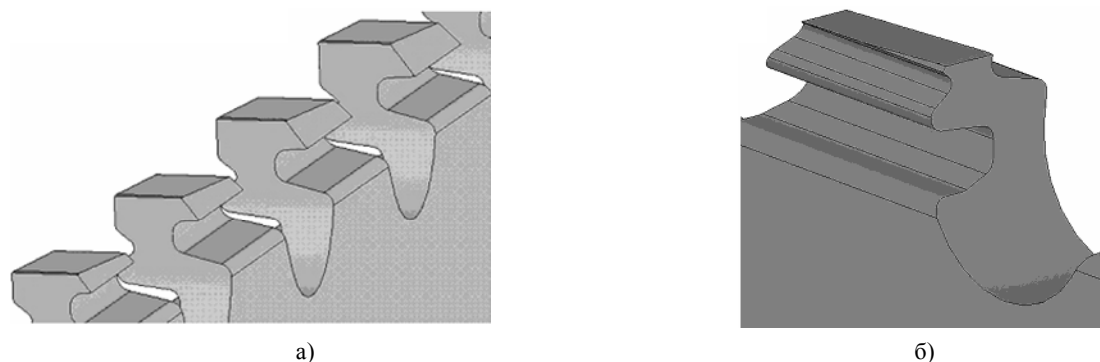
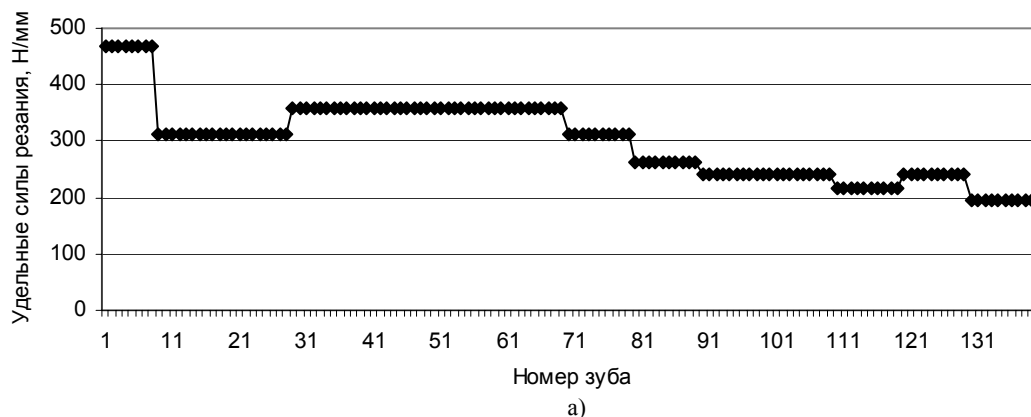


Рис. 5. Зубья с фасками (а) и сломанными кромками (б)

Спроектированная протяжка имеет 140 зубьев разной ширины и с разными подъемами на зуб. На рисунке 6 показаны уровни удельных  $k_c$  и главных  $P_z$  сил резания для всех зубьев протяжки. Отмечается достаточно равномерные значений сил с тенденцией снижения по мере уменьшения подъемов на зуб. Существенные изменения сил вызывают появление колебаний, отрицательно сказывающихся на работе всей технологической системы.



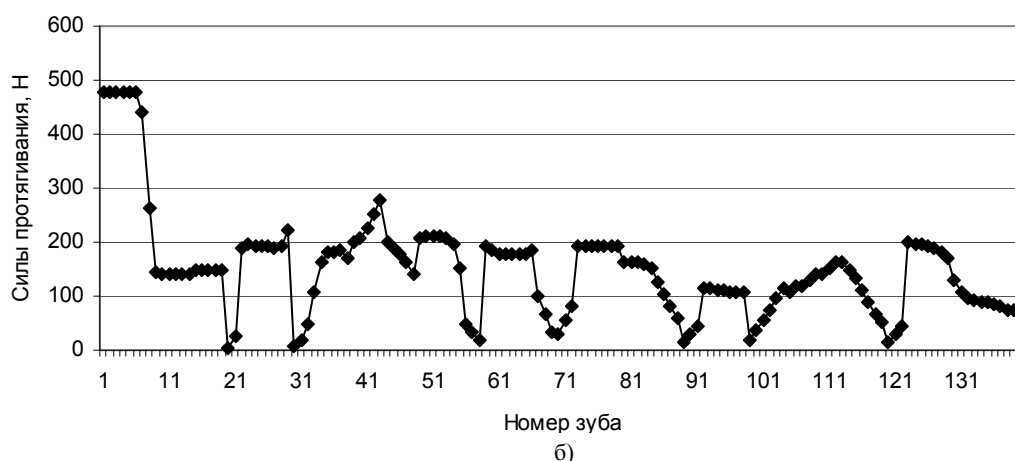


Рис. 6. Изменения уровней удельных  $k_c$  и главных  $P_z$  сил резания на отдельных зубьях протяжки

Анализ условий работы протяжки выполнен методом конечных элементов на базе пакета CosmosWorks. Исследованы распределения эквивалентных напряжений и коэффициентов безопасности в зубьях протяжки, изготовленной из стали Р6М5. Эквивалентные напряжения определялись по IV теории прочности как

$$\sigma_{\text{экр}} = \sqrt{\frac{[\sigma_1 - \sigma_2]^2 + [\sigma_2 - \sigma_3]^2 + [\sigma_1 - \sigma_3]^2}{2}},$$

а коэффициенты безопасности как

$$n = \frac{\sigma_m}{\sigma_{\text{экр}}},$$

где  $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$  – главные напряжения по осям  $x, y, z$ ;  $\sigma_T$  – предел текучести материала протяжки.

Если в данном узле коэффициент безопасности  $n < 1,0$ , то имеет место разрушение материала; при  $n > 1,0$  прочность материала сохраняется.

На рисунке 7 показаны граничные условия и сетка конечных элементов в секции протяжки. Принятая схема закрепления соответствует реальному креплению секции на инструментальной плите. Силы резания  $P_z$  и  $P_y$  действуют как равномерно распределенные вдоль режущих кромок зубьев.

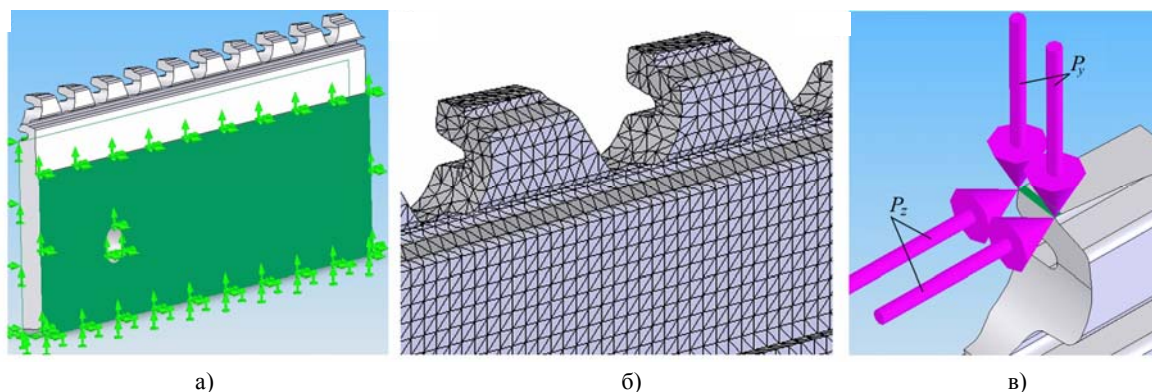


Рис. 7. Условия закрепления (а), сетка конечных элементов (б) и силы, действующие вдоль режущей кромки зуба (в)

Распределения напряжений и коэффициентов безопасности в зубьях протяжки приведены на рисунке 8. Вблизи режущей кромки и в зоне изгиба тела протяжки заметны превышения эквивалентных напряжений относительно предела текучести материала протяжки, которые могут вызвать разрушение зубьев в ходе работы.

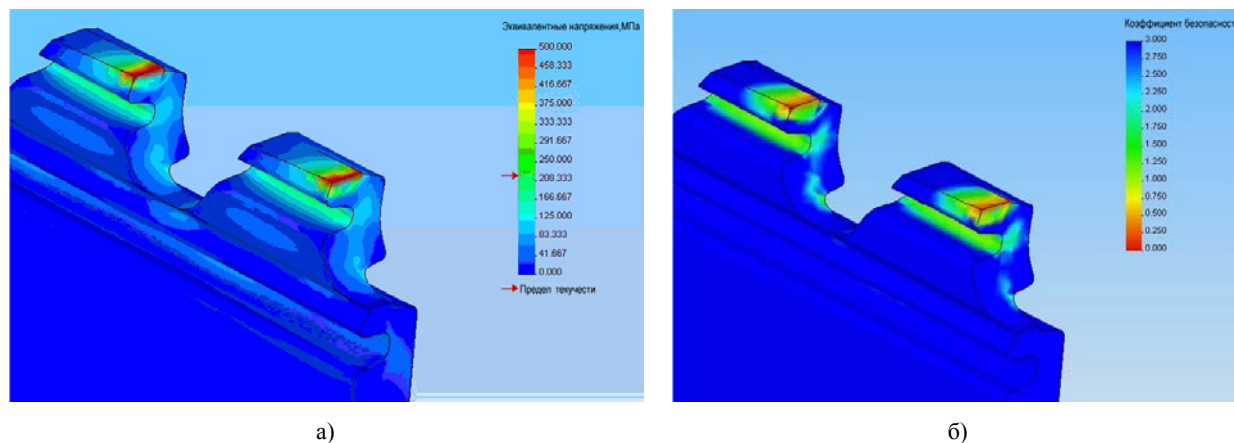


Рис. 8. Результаты моделирования прочности сечции пазовой протяжки

Проверка результатов предварительного моделирования и оптимализация значений передних углов проводилась на одиночном зубе протяжки. С этой целью использована более густая сетка конечных элементов. Распределение коэффициентов безопасности подтвердило предварительные результаты (рис. 9), однако зафиксировано снижение прочности зуба также в области нижнего изгиба тела протяжки. Таким образом, возможно повреждение зуба в двух местах.

При анализе влияния переднего угла на прочность зубьев установлено, что в зубе протяжки, имеющем передний угол  $\gamma = -5^\circ$ , имеет место снижение коэффициента безопасности ниже 1,0, т.е. возможно разрушение материала протяжки. Наиболее благоприятные условия работы протяжки достигаются при использовании передних углов  $\gamma = 10^\circ$  (рис. 10).

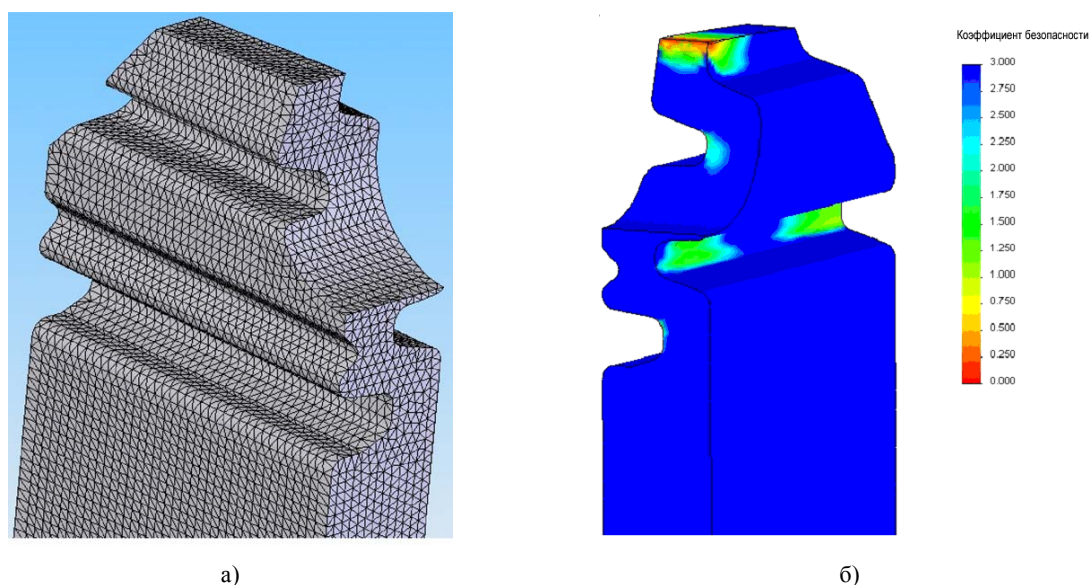


Рис. 9. Сетка конечных элементов (а) и распределение коэффициентов безопасности (б) в одиночном зубе

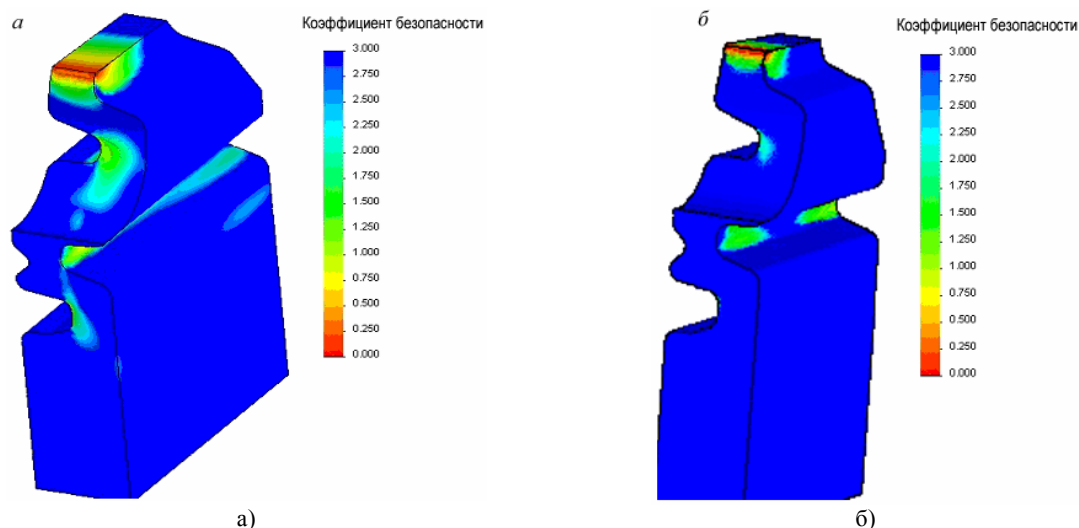


Рис. 10. Значения коэффициентов безопасности при передних углах  $-5^\circ$  (а) и  $10^\circ$  (б)

**Заключение.** Правильный выбор формы режущих кромок, подъемов на зуб и распределения припуска между секциями протяжек для протягивания фасонных пазов обеспечивает благоприятные условия работы инструмента, его высокую стойкость и надежность работы.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Щеголев, В.А. Конструирование протяжек / В.А. Щеголев. – М.: Машгиз, 1960.
2. Шатин, В.П. Режущий и накатный инструмент: справочник конструктора-инструментальщика / В.П. Шатин, Ю.В. Шатин. – М.: Машиностроение, 1975.
3. Балюра, П.Г. Геометрические параметры протяжек при обработке пазов по генераторно-ступенчатой схеме резания / П.Г. Балюра // Станки и инструмент. – 1957. – № 11. – С. 32 – 34.
4. Протяжки круглые переменного резания диаметром от 14 до 90 мм. Конструкция и размеры: ГОСТ 20365-74.
5. Протяжки шпоночные. Конструкция: ГОСТ 18217-90.

Поступила 11.12.2007